AUS DER CHIRURGISCHEN UNIVERSITÄTS-KLINIK DER
UNIVERSITÄT BERLIN · LEITER: PROF. DR. ROSTOCK

Über die Form der Knochenbrüche bei der Ostitis deformans Paget

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Medizinischen Doktorgrades an der
Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Vorgelegt von

Karl Zuschneid

aus Berlin-Reinickendorf

Tag der Promotion: 6. November 1939

DRUCK: DEUTSCHER VERLAG, BERLIN

M 271

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Berlin
Dekan: Prof. Dr. med. Kreuz
Referent: Privat-Dozent Dr. W. Haase
Korreferent: Prof. Dr. med. Kreuz

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

MEINEN ELTERN

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548011_0051

Die klinische Erfahrung zeigt, daß Röntgenbilder von Knochenbrüchen und ihre Deutung im Sinne der medizinischen Lehrbücher häufig nicht mit der Schilderung übereinstimmen, die der Verletzte von der Entstehung des Bruches gibt. So wurde das ausgesprengte Frakturdreieck als Beweis für einen Biegungsbruch angesehen, auch wenn anamnestisch eine Torsion vorlag, und der Schraubenbruch wurde auf eine Drehungsbelastung zurückgeführt, obgleich der Patient eine Längsbeanspruchung schilderte. Aus bestimmten Bruchformen wurde auf einen bestimmten Entstehungsmechanismus geschlossen und die mangelhafte Uebereinstimmung des klinischen Befundes mit den Angaben des Patienten auf dessen kurze Bewußtseinstrübung im Augenblick des Traumas zurückgeführt.

Aehnliche Beobachtungen machte Haase bei dem Versuch, die entstehende Wärme im Augenblick eines Knochenbruches zu messen. Auch hierbei brachen die Knochen trotz genauer Einspannung im Materialprüfungsgerät nicht immer entsprechend der durchgeführten Belastung. Eine Biegung ergab nicht in jedem Fall den „typischen" Biegungsbruch, eine Drehung nicht in jedem Falle eine Schraubenlinie.

Diese Tatsachen veranlaßten Haase, planmäßig Knochen unter bestimmten Voraussetzungen zu brechen und die entstehenden Brüche mit Werkstoffbrüchen zu vergleichen. Das Ergebnis dieser Untersuchung war, daß die Bruchform abhängig ist von folgenden Faktoren:

1. **der äußeren Beanspruchungsart** (Druck, Zug, Verdrehung, Knickung, Biegung);
2. **den inneren Spannungsreaktionen,** die in dem Körper durch die äußere Beanspruchungsart erzeugt werden (Normalspannungen, Schubspannungen);
3. **der Art und Neigung des Werkstoffes** bzw. Körpers (plastisch, spröde), auf die inneren Spannungen zu reagieren.

Die äußere Beanspruchung allein hat also noch keine eindeutige Bruchform zur Folge. Sie löst Spannungen aus, die in Normal- oder Trennspannungen und Tangential- oder Schubspannungen eingeteilt werden. Nach den Gesetzen der Mechanik haben diese Spannungen ihre Größtwerte in bestimmten Richtungen. In diesen Richtungen reißt und bricht der Körper bei genügend hoher Belastung entweder durch die Normal- oder Trennspannungen als Trennbruch oder verformt sich durch die Tangential- oder Schubspannungen bis zum Gleit- oder Schubbruch. Die entstehenden Bruchformen sind abhängig davon, ob der Körper sich spröde (Trennbruch) oder plastisch (Gleitbruch) verhält. Außer der Eigenart des betreffenden Stoffes (plastisch, z. B. weicher Stahl, spröde, z. B. Gußeisen) ist aber auch die Art, wie eine Beanspruchung wirkt, ob statisch oder dynamisch, für das Verhalten eines Stoffes im Falle eines Bruches wichtig. Ein weicher Stahl z. B., der langsam gebogen wird, bricht erst unter dieser Beanspruchung, nachdem er sich plastisch verformt hat, während er schlagartig belastet spröde bricht und dementsprechend ein sprödes Bruchgefüge aufweist. Man kann also — bezgl.

der dynamischen Beanspruchung — nicht sagen, daß der Körper von Natur aus spröde oder plastisch ist, sondern nur angeben, daß der brechende Teilbereich des Körpers beim Bruch spröde oder plastisch reagiert. (Seidl.)

Dagegen wird bei statischer Belastung in erster Linie die Eigenart des Körpers (bildsam, spröde) Einfluß auf das Aussehen des Bruchbildes haben. Schwierigkeiten bei der Beurteilung von Knochenbrüchen unter diesen Gesichtspunkten ergeben sich daraus, daß diese strenge Einteilung in die einzelnen Beanspruchungsarten bezgl. der Richtung und Geschwindigkeit der Krafteinwirkung und der sich daraus ergebenden Spannungen und Verformungen nur für den Idealfall eines völlig homogenen spröden oder plastischen Stoffes von absolut gleichmäßiger Gestalt bei ganz eindeutigem Kraftangriff gilt. Die erwähnten Voraussetzungen lassen sich im Versuch mit geometrisch geformten Werkstoffen von homogener Struktur und bei möglichst eindeutiger Beanspruchung nur bedingt erfüllen, so daß Haase und Richter auch bei den Werkstoffprüfungen nur von „vorherrschenden" und „beabsichtigten" Beanspruchungen sprechen. Bei der Beurteilung von Knochenbrüchen, besonders bei den auf natürlichem Wege entstehenden, werden gewisse Unregelmäßigkeiten in viel stärkerem Maße zu berücksichtigen sein. Hier ist eine geometrisch gleichmäßige Gestalt, eine homogene Struktur und eine eindeutige Beanspruchungsart nie gegeben. Die Unterschiedlichkeit der Beanspruchung ergibt sich aus der Vielheit der Unfallmöglichkeiten, die Inhomogenität des Knochens aus seiner Struktur und seinem chemisch-kolloidalen und kristallinischen Aufbau, die mangelnde geometrisch gleichmäßige Gestalt aus dem Wesen des lebenden Körpers. Aber gerade in dieser scheinbaren Unregelmäßigkeit der Form und den noch nicht genau zu erfassenden chemisch-kolloidalen Verhältnissen liegt ja die Eigenart des tierischen Stützapparates begründet, der mit staunenswerter Leistungsfähigkeit Härte, Festigkeit und Elastizität — also z. T. entgegengesetzte Eigenschaften — in einem Maße verbindet, wie es die Technik weder bei statischen Konstruktionen noch bei der Herstellung von Legierungen erreicht. Trotzdem lassen die vergleichenden Versuche, die Haase und Richter an den verschiedensten Werkstoffen einerseits und tierischen und menschlichen Knochen andererseits durchführten, eine Einordnung des menschlichen Knochengewebes zu, das man im Sinne Seidls als „quasi spröde" bezeichnen kann, wobei alte Knochen mehr zu sprödem, junge Knochen dagegen mehr zu plastischem Verhalten neigen. Die Untersuchungen mit Röhrenknochen, also „quasi spröden" Knochen von Rindern, Schafen, Schweinen, Hühnern und auch von Menschen in Werkstoffprüfmaschinen führten zu Ergebnissen, die eine Beurteilung von Knochenbrüchen nach den Erkenntnissen und Grundsätzen der technischen Mechanik zulassen. Es wurde festgestellt, daß vorwiegend spröde Knochen durch Verdrehung spiralig (evtl. mit Ausbrechen eines Knochendreiecks, wenn zwei Spirallinien zu einander im Winkel von 90° an zwei verschiedenen Punkten zu gleicher Zeit beginnen), durch Biegung (Knickung) quer (ohne Aussprengung eines Frakturdreieckes!) brechen. Die Eindeutigkeit der entstehenden Bruchbilder nahm in diesem Sinne mit zunehmender Sprödigkeit zu, während sie bei weicheren, also mehr plastischen Knochen abnahm, so daß teilweise ein geradezu gegenteiliges Verhalten sichtbar wurde. Daraus

ergibt sich, daß der strukturelle Aufbau und die chemisch-kolloidalen Verhältnisse eines Knochens, die in ihrer Gesamtheit die Festigkeit bedingen, in gleichem Maße Einfluß auf das Aussehen eines Bruches haben wie die Art der einwirkenden Gewalt. Diese Erkenntnis erklärt weiterhin auch die Einförmigkeit des Bruchbildes pathologisch veränderter Knochen. Es handelt sich hierbei um Körper, deren Konsistenz, im Vergleich zum normalen Knochengewebe, auf Grund krankhafter Vorgänge entweder im Sinne gesteigerter Sprödigkeit oder vermehrter Weichheit verändert ist. Der für die Bruchform entscheidende Faktor der Konsistenz des Gewebes wird um so größere Bedeutung erlangen, je ausgeprägter die Veränderungen in der einen oder anderen Richtung sind, und je weniger eine schlagartig angreifende, dynamische Belastung, die das Verhalten eines Körpers im Falle eines Bruches sehr wesentlich beeinflußt, als vielmehr eine statische Dauerbelastung zur Ursache einer Fraktur wird. In besonders eindrucksvoller Weise bedingt eine Veränderung der Konsistenz, zusammen mit einer vorwiegend statischen Beanspruchung, das Aussehen der Knochenbrüche bei der Ostitis deformans Paget, bei der, wie bei keiner anderen Knochenerkrankung, die immer wiederkehrende Bruchform zu einem der wichtigsten diagnostischen Kennzeichen dieser Krankheit wird. Ueber das Aussehen dieser Brüche schreibt Looser: „Frakturen, die bei der O. d. P. nicht selten aus unbedeutenden Ursachen entstehen, zeigen ein sehr charakteristisches Bild. Die durch den verdickten und wabig aufgelockerten Knochen verlaufende Bruchlinie verläuft quer und zeigt nur geringe Unebenheiten der Bruchfläche, es fehlt jede Splitterung, Sporn- oder Zackenbildung, die sonst Schaftfrakturen gesunder Knochen auszeichnen. Die charakteristische Bruchfläche erinnert an eine entzweigebrochene, geschälte Banane."

Dem geschilderten Verhalten des gebrochenen „Pagetknochens" müssen also, unter Berücksichtigung der oben skizzierten Grundsätze und Erkenntnisse der Mechanik, folgende Voraussetzungen zugrunde liegen:

1. **Die einwirkende Kraft muß den Knochen im Sinne der Biegung oder Knickung beanspruchen.**
2. **Der Knochen muß eine verminderte statisch wirksame Struktur aufweisen, und seine Konsistenz muß eine gesteigerte Sprödigkeit haben.**
3. **Die Belastung muß überwiegend statisch erfolgen, damit der für die Bruchform ausschlaggebende Faktor der gesteigerten Sprödigkeit, unbeeinflußt durch dynamische Einwirkungen, voll zur Geltung kommt.**

Die erste Voraussetzung ergibt sich ohne weiteres aus der häufigsten, sowohl physiologischen als auch traumatischen Beanspruchungsart eines Knochens, der **Biegungs- und Knickungsbelastung.** Ihr unterliegt der gesunde und der krankhaft veränderte Knochen ständig. (Physiologischerweise beim Laufen, Heben, Tragen, Strecken usw. — traumatisch beim Stoß gegen den Knochen, beim Fall usw.) Demgegenüber ist die Drehbelastung, wie sie z. B. beim Skilauf vorkommt, wo die Wucht des herumgerissenen Körpers auf das durch den Ski fixierte Bein einwirkt, relativ selten und kann in Hinblick auf die Knochenbrüche bei der O. d. P., wo es sich auf Grund des zugänglichen Materials

stets um eine Biegungs- bzw. Knickungsbelastung handelt, unberücksichtigt bleiben. Das gleiche gilt für die Zugbelastung, die z. B. zum Rißbruch an der Patella und zur typischen medialen Malleolarfraktur führt, aber niemals zur Ursache eines queren Diaphysenbruches wird, wie er für den Pagetknochenbruch typisch ist. Eine reine Druckbelastung — dies gilt ganz allgemein für alle Diaphysenbrüche — scheidet deshalb aus, weil sie wegen der geometrisch ungleichmäßigen Gesamtform des Knochens immer in eine Biegungs- bzw. Knickungsbelastung umgewandelt wird.

Die zweite Voraussetzung, die der **veränderten anatomischen, statisch wirksamen Struktur und gesteigerten Sprödigkeit,** die sich aus einer kolloid-chemischen und kristallinischen Zustandsänderung des Pagetknochens ergibt, ist auf Grund der folgenden Tatsachen als gegeben anzusehen:

Der normale Knochen zeigt bei schlanker Form im Sinne der Maximum-Minimum-Konstruktion der Technik eine Fülle funktionell hochwertiger Spezialstrukturen, die beim Pagetknochen verlorengegangen sind. In der Spongiosa fehlen die statisch sehr bedeutungsvollen Knochenröhrchen (Tubuli ossei), die die Leichtigkeit des normalen Knochens (Ausweitung des zentralen Hohlraumes und Reduktion der Masse) und seine Widerstandsfähigkeit bedingen, es fehlt der systemvolle Aufbau der Knochenplättchen (Lamellae staticae), die ebenso wie die Röhrchen besonders zur Beanspruchung in Längsrichtung geeignet sind. Man vermißt das Vorkommen von zweckmäßig angeordneten Spongiosabälkchen, die eine besondere Anpassung an axiale Längsbelastung haben, desgl. die Pilulae osseae (Hohlkugelbildungen), die besonders zur elastischen Stoßdämpfung geeignet sind.

Auch die Grundelemente der normalen Kompakta sind verlorengegangen. Es fehlen die konzentrisch geschichteten Lamellen mit verschieden steilen, schraubenförmigen Fasergängen in wechselnder Richtung, die in ihrer Gesamtheit das Osteon bilden. Es wurde nachgewiesen, daß in dieser Struktur des Einzelosteons eine günstige Widerstandskraft gegen alle Beanspruchungen gegeben ist. Es fehlen endlich die statisch sehr wirksamen äußeren und inneren Generallamellen. Statt dieses feinen architektonischen Aufbaues des normalen Knochens, der seine schlanke Form und große Widerstandsfähigkeit bedingt, finden wir beim Pagetknochen nur mangelhaft ausgebildete Osteone, Tubuli ossei und Lamellen, und eine gewaltige Dickenzunahme des ganzen Knochens ist der sinnfällige Ausdruck der Minderwertigkeit des gebildeten Gewebes. An den Röhrenknochen sind vor allem die Diaphysen erkrankt. Die Erkrankung beginnt in der Nähe der Gelenkenden und schreitet gegen den Schaft zu fort, dessen Volumen auf das Doppelte und mehr vergrößert sein kann. Mit der Verdickung geht eine Verkrümmung nach vorn und auswärts einher. Das ganze Gefüge des Knochens ist bimssteinartig. Inmitten gleichmäßiger, feinporiger Gebiete finden sich oft stark zerklüftete Stellen, aber auch Inseln sehr harten, elfenbeinartigen Knochengewebes. Die Rinde der Röhrenknochen ist streifig aufgeblättert, verbreitert, ungleichmäßig dick, die Bälkchen zu ungleichmäßigen Maschen geordnet oder manchmal zu ziemlich gleichmäßigen parallelen Zügen, die lange Markräume zwischen sich schließen. Die Bälkchen sind dabei breiter als die normalen

Spongiosabälkchen. Die deutliche Schichtung in Rinde und Spongiosa ist vielfach verlorengegangen, bisweilen sind aber auch zwei Zonen unterscheidbar, eine äußere, zart spongiöse, osteophytähnliche und eine innere, mehr kompakte und blättrige. In älteren Stadien zeigt sich oft eine umgekehrte Reihenfolge der Schichten, indem der aufgeblätterte parallelstreifige, sklerotische Rindenmantel eine Zone ungleichmäßiger, in Menge und Dicke verschiedener Trabekel umgibt, die gegen die ungleich weite Markhöhle durch muldig gebuchtete, papierdünne Knochenschalen abgegrenzt ist. Diesem mikroskopischen Befund entspricht das Röntgenbild des an Ostitis deformans erkrankten Knochens, das sehr charakteristische Veränderungen zeigt. Die Knochen sind im Bereich der Erkrankung mehr oder weniger stark verdickt und meist auch verbogen. Die normale Knochenstruktur ist vollständig geschwunden und durch neue, pathologische ersetzt. Die Kortikalis besteht aus Strähnen längsverlaufender, zuweilen aber auch unregelmäßiger und wabig angeordneter Knochenbälkchen, zwischen denen längliche, etwas unregelmäßige Lücken liegen. Erkrankte Knochenpartien sind gegenüber den gesunden abnorm durchsichtig und aufgehellt. (Looser.) Histologisch sind Kompakta und Spongiosa gleichfalls stark verändert. Wenn mit Schmorl von einem Pagetknochen gesprochen wird, so wird darunter ein Knochengewebe verstanden, das aus kleinen unregelmäßigen Knochenfeldern besteht, die von regellos verlaufenden, meist leicht zackigen, stark mit Hämatoxylin und Gallein sich färbenden dicken Abbaukittlinien umgrenzt werden. Körperlich gedacht, baut sich dieses Knochengewebe aus kleinen, unregelmäßig geformten, zumeist lamellär gebauten, mosaikartig aneinandergelagerten Knochenstückchen auf, die durch unregelmäßige, verschieden verlaufende Abbaukittflächen voneinander getrennt werden. Die Mosaikstrukturen kommen durch Ab- und Anbauvorgänge zustande, die dicht nebeneinander, scheinbar regellos auf kurze Strecken hin verlaufen. Im blutgefäßreichen Fasermark kommt es oft zur Entwicklung dünner, knorriger Bälkchen von Bindegewebsknochen, die in der Mitte meist gut verkalkt sind. Durch den fortschreitenden und immer wieder an anderer Stelle angreifenden Abbau erleidet die ursprünglich lamelläre Umsäumung der Bälkchen wie auch der Knochen-Kanäle Unterbrechungen und geht schließlich verloren. Durch das Fehlen dieser einfassenden verbindenden Lamellensäume verlieren die Bälkchen ihre Versteifung, und die Spongiosa macht trotz der Dichtigkeit einen inkohärenten, in ihrer Festigkeit herabgesetzten Eindruck.

Die makroskopischen und mikroskopischen Befunde weisen also eindeutig auf eine Zerstörung der statisch wirksamen Elemente hin und erklären das glatte Aussehen der Bruchflächen und das Fehlen jeder Splitterung, Sporn- und Zackenbildung, die sonst Schaftfrakturen gesunder Knochen auszeichnen.

Schwieriger liegen die Verhältnisse in bezug auf die vom normalen Knochen abweichende Konsistenz, die beim Pagetknochen im Sinne einer erhöhten Weichheit bei gleichzeitiger Zunahme der Sprödigkeit verändert ist. Objektiv betrachtet, sehen wir bei den pathologisch veränderten Knochen eine Verminderung des Mineralgehaltes und eine Vermehrung der organischen Substanz. Nach Schmorl erklärt sich der geringe Mineralgehalt dadurch, daß das Knochengewebe bei der schnellen Aufeinanderfolge des An- und Abbaues so schnell zerstört wird, daß es

nicht Zeit findet, die Kalkmenge aufzunehmen, die es aufnehmen könnte, wenn es länger bestünde. Die Röntgenaufnahmen Erdheims beweisen, daß der Pagetknochen einen geringeren Kalkgehalt aufweist als das normale Knochengewebe. Bei Profilaufnahmen planparalleler Scheiben erscheint die verdichtete Spongiosa des Pagetknochens weniger kalkhaltig als die lichte außerhalb des Herdes.

Auf Grund dieser Feststellungen kommt Haslhofer zu dem Schluß, daß sich aus dem geringen Gehalt an anorganischer Substanz, abgesehen von der eigentümlichen Struktur des Pagetknochens, eine statische Minderwertigkeit, eine gewisse Weichheit des Knochens, der brüchig, spröde und meist schneidbar ist, ergebe. Er führt also die Brüchigkeit z. T. auf eine „gewisse Weichheit" infolge mangelhafter Kalkeinlagerung zurück. Welche Bedeutung aber der Gehalt an anorganischer Substanz, in der der Kalk mit 50% die Hauptrolle spielt, für den Härtegrad des Knochens hat, kann noch nicht eindeutig beantwortet werden. Nach Rößle bestehen zwar allgemeine Beziehungen der Härte zum spezifischen Gewicht, aber nicht zum Kalziumgehalt des Knochens. Ueber die chemischen Grundlagen, die die Härte ausmachen, wissen wir noch sehr wenig. Die Untersuchungen Raubers, die er einerseits an entkalkten, andererseits an mazerierten Knochen durchführte, können über die Frage nach dem Wesen der Knochenhärte nichts Entscheidendes aussagen. Triepel zieht mit Recht den vorsichtigen Schluß aus ihnen, daß die Druckfestigkeit des Knochens sich nicht einfach aus der Summe der Druckfestigkeiten der organischen und der anorganischen Substanz ableiten läßt. Im Rauberschen Versuch wird gerade das Wesentliche zerstört, nämlich die Art der Bindung (Adsorption) der anorganischen Bestandteile an die organischen Kolloide.

Auf die Bedeutung dieses kolloidalen Gerüstes wies Schade besonders hin, der die unmittelbare Abhängigkeit des elastischen Widerstandes von den kolloidalen Verhältnissen zeigte.

Da aber die Frage des elastischen Widerstandes für die Art und Neigung des Knochens, zu brechen, von viel größerer Bedeutung ist als die Frage der Härte, wird weiter unten auf die chemisch-kolloidalen Verhältnisse näher einzugehen sein, die eindeutig eine Zunahme der Sprödigkeit beweisen. Wenn Haslhofer von einer gewissen Weichheit spricht, so läßt sich diese Tatsache auch so erklären, daß der Knochen bei Druck mit dem Finger oder der Messerschneide entsprechende Impressionen zeigt, die durch das Einbrechen der oft deckglasdünnen, spröden, aufgeblätterten Lamellen bedingt sind. Die leicht herbeizuführenden Impressionen an der Oberfläche sind vielleicht geeignet, ursächlich eine Weichheit des Knochens vermuten zu lassen, sie können aber auch als Beweis der gesteigerten Sprödigkeit der einzelnen Knochenlamellen, die sich aus einer Störung des optimalen chemisch-kolloidalen Verhältnisses ergibt, aufgefaßt werden. Eine Störung dieses optimalen chemisch-kolloidalen Verhältnisses des an der Ostitis deformans erkrankten Knochens ist deshalb mit Sicherheit anzunehmen, weil der Ossifikationsvorgang im Pagetknochen gestört ist. Der normale Verkalkungsvorgang spielt sich so ab, daß von den Knorpelzellen in einem gewissen Stadium der Entwicklung ein „formativer Reiz" ausgeht, wodurch dieses Gewebe eine „spezifische Affinität zu Kalksalzen des Blutes bzw. der Gewebsflüssigkeit gewinnt. Die derart zum Kalksalzfänger umgewan-

delte Masse wird zunächst von gelösten Kalksalzmassen durchdrungen, die mit der organischen Grundlage in Verbindung treten und bei deren Abbau präzipitieren". (Pfaundler.) György zergliedert den Verkalkungsvorgang in drei Phasen, in denen es stufenweise zur Bildung lockerer Kalzium-Knorpeleiweiß-Verbindungen mit Anlagerung von Phosphaten kommt und schließlich zum Zerfall dieser lockeren Valenzverbindungen in Eiweiß und Kalziumphosphat bzw. Kalziumkarbonat.

Die mangelhafte Kalziumablagerung im Pagetknochen ist also neben den von Schmorl erwähnten überstürzten Abbauvorgängen sicher auch auf eine Aenderung des chemisch-kolloidalen Zustandes des Knorpeleiweißes zurückzuführen, dem eine normale Kalzium-Knorpeleiweißbildung und Ausfällung entsprechend dem Györgyschen Schema nicht möglich ist. Die Niederschlagsbildung von Kalziumphosphat setzt weiterhin eine alkalische Aenderung des Stoffwechselmilieus voraus, die bei der O. d. P. nicht gegeben ist, wenn wir die Erkrankung im Sinne Rößles als eine „Entzündung mit abgeschwächten Entzündungszeichen" auffassen. Auch Looser, Knaggs, Erdheim u. a. bezeichnen die O. d. P. als eine chronisch verlaufende entzündliche Erkrankung, die in bezug auf das Vorkommen eines atrophischen und eines sklerotischen Stadiums weitgehende Analogie mit der infektiösen Osteomyelitis aufweist. Entzündetem Gewebe ist aber ganz allgemein eine saure Stoffwechsellage und eine kolloidale Zustandsänderung eigen, wodurch auch unter diesem Gesichtspunkt sowohl die Kalkarmut des Pagetknochens als auch die mangelhafte elastische Widerstandskraft verständlich erscheint.

Auf ein von der Norm abweichendes Verhältnis der anorganischen Bestandteile und der organischen Kolloide des Pagetknochens, d. h. auf eine Aenderung des chemisch-kolloidalen Gleichgewichtes, weisen auch die röntgenspektrographischen (kristallochemischen) Untersuchungen hin, die Henschen nach der Interferenzmethode (Laue-Debeye-Scherrer) an gesunden und kranken Knochen vergleichsweise vornahm. Diese Untersuchungen ergaben, daß der anorganische Knochen im Wesentlichen aus Apathitkristallen, der organische Knochenknorpel in seinem Fibrillensystem aus Parakristalliten besteht, die durch Koagulation eines Sols entstanden sind. Der anorganische und der organische Anteil sind durch einen amorphen oder vielleicht gleichfalls „gerichteten" Knochenzementit eisenbetonartig zu einem übergeordneten „Kompositsystem" zusammengefügt. Das Diagramm der kristallo-chemischen Feinstruktur des normalen Knochens zeigt im Zentrum zwei helle und verhältnismäßig breite Ringe, deren innerer auf zwei gegenüberstehende Halbmonde zusammengezogen ist. Es sind dies die halbflüssigen kollagenen Fibrillenkristalle, ihre Struktur deutet auf eine gerichtete Orientierung der Parakristallite hin. Außerhalb dieses organischen Faserdiagramms finden sich mehrere schmale Linien, welche dem anorganischen Apathitgitter entsprechen.

Das Kompositsystem des normalen Knochens zeigt also ein bestimmtes Mengenverhältnis seiner organischen und anorganischen Bestandteile, und aus dieser Regelmäßigkeit leitet sich die Bruchfestigkeit ab, die den normalen reifen Knochen auszeichnet.

Hiervon abweichende Ergebnisse liefern die röntgenspektroskopischen Untersuchungen von Knochen, die sich durch eine gesteigerte Brüchigkeit auszeichnen. Bei ihnen ist das Mengenverhältnis der organischen

zu den anorganischen Bestandteilen in der einen oder anderen Richtung verschoben, und es kommt entweder zum schärferen Hervortreten der Apathitlinien oder der parakristallinischen Halbmonde. Letzteres ist besonders bei ganz jungen und bei rachitischen und osteomalacischen Knochen der Fall. Henschen fand im Kristallogramm des Jugendknochens im Vergleich zu dem des reifen Normalknochens die beiden Linien des organischen Faserdiagramms sehr deutlich parakristallitartig gerichtet, während die anorganischen Linien des Kalziumphosphats kaum sichtbar sind. Das Kristallogramm des rachitischen Knochens deckt sich weitgehend mit jenem des ganz jungen Knochens, nur sind die organischen Linien noch viel breiter und intensiver, während die Apathitlinien sehr undeutlich sind. Auch bei der Osteomalacie erscheinen im Zentrum des Diagramms zwei auffallend breite, hochintensive organische Ringe, die gleichfalls durch eine kolloid-chemische Zustandsänderung — hier im Sinne der Altersgelose — zu deuten sind.

Zusammengefaßt kommt es bei den in überwiegendem Maße aus organischen Bestandteilen bestehenden kalkarmen Knochen zu einem deutlichen Hervortreten der organischen Ringe. Auf Grund der relativen Kalkarmut des Pagetknochens bei gleichzeitigem Ueberwiegen der organischen Bestandteile kann man für die Ostitis deformans ähnliche kristallo-chemische Verhältnisse annehmen.

Das scharfe Hervortreten der zentralen Halbmonde im Diagramm der oben erwähnten Knochen beruht auf einer Entquellung und schärferen Kristallflächenausbildung unter gleichzeitiger Vergrößerung der Parakristallite. Die kollagenen Formelemente des Knochens haben aber die Eigenschaft außerordentlicher Festigkeit in der Faser- oder Kettenrichtung und leichter Trennbarkeit und Quellbarkeit in der Querrichtung, da die nebeneinanderliegenden Ketten nur durch zwischenmolekulare Nebenvalenzkräfte gebunden sind. Die Eigenschaft der Trennbarkeit in der Querrichtung wird sich also um so stärker bemerkbar machen, je mehr die kollagenen Elemente überwiegen. Auf eine allgemein verminderte Bruchfestigkeit weist auch die von Henschen festgestellte Vergrößerung der Parakristallite hin, denn die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung ist um so größer, je kleiner die einzelnen Parakristallite sind, d. h. je inniger die molekularen Teilstücke ineinander verzahnt sind. Bei Beanspruchung des Knochens verschieben sich die molekularen Bausteine unter Gleitung auf bestimmte Ebenen. Gelangt die Gleitzone in intakte, festverzahnte Kristallgebiete, so wird diese Gleitdeformation unter mechanischer Verfestigung des Knochens innerlich abgeriegelt und wechselseitig blockiert. Diese Verfestigung des Knochenabschnittes, in dem die Gleitlinie liegt, kann bei einer dauernden Ueberbelastung so stark werden, daß es zu einer Abdrosselung der ernährenden feinsten Kapillaren und Lymphbahnen kommt

Haase gebraucht den Vergleich mit dem Schneeball, den man fest zusammendrückt: „Seine Kristalle haben sich dann auch verschoben, seine Gestalt ist kleiner geworden, aber seine Festigkeit hat zugenommen. Im Knochen sind dann außer der Formveränderung bereits unvorstellbar viele kleinste Blut- und Lymphwege und Saftbahnen versperrt.“ Damit verliert der Knochen die biologischen Möglichkeiten der Reparation und Funktionserhaltung. Die Verfestigungsdehnung geht schließlich über

in die Zerrüttungsdehnung, in der sich die Kristalle voneinander an der durchlaufenden Gleitebene trennen. Den Technikern sind diese Erscheinungen geläufig, sie sprechen von einer „Ermüdung" des Materials, die schließlich zum Bruch führt. Aehnliche Verhältnisse liegen auch bei der Ermüdung des Knochens vor, die sich klinisch als schleichende Fraktur oder Spontanfraktur an sich gesunder Knochen äußert. In diesem Sinne lassen sich die Krankheitsbilder der Marschfrakturen der Soldaten, die schleichenden Deutschländerschen Frakturen des zweiten Mittelfußknochens nach Hallux-valgus-Operation, die Müllersche Lysis der Dornfortsatzbrüche bei Erdschippern, schließlich die Köhlersche, Perthessche und Kümmelsche Krankheit deuten.

Bei einer Ueberbeanspruchung krankhaft veränderten Knochengewebes wird es dagegen nicht zu einer Abriegelung und Blockierung (Verfestigungsdehnung) kommen. Die vergrößerten Kristallite und Parakristallite lassen eine feste Verzahnung gar nicht zu, sondern gleiten infolge ihrer Großflächigkeit aneinander vorbei, und die Zerrüttungsdehnung und damit verbundene Infraktionen und Spontanbrüche werden viel häufiger in Erscheinung treten, wie es bei der O. d. P. ja auch der Fall ist.

Schleichende und akut auftretende quere Infraktionen und Spontanfrakturen sind hierbei so häufig, daß Schmorl die typische Verlängerung des Pagetknochens auf die beschleunigte Ausfüllung der Bruchspalten durch Kallus zurückführt. Auch die Verlängerung an der konvexen Seite, die die typische Krümmung bedingt, ist im gleichen Sinne durch Ausfüllung querer Einrisse an mehreren Stellen übereinander, die der wenig widerstandsfähige Pagetknochen bei der Biegungsbeanspruchung erleidet, zu erklären.

Eine Deutung der Aufhellungszonen in der Kortikalis als „Loosersche Umbauzonen", wie sie Salinger gab, ist auf Grund der Untersuchungen Schmorls nicht angängig. Schmorl schreibt in seiner Stellungnahme zu der Salingerschen Arbeit: „Die in meinen Fällen von O. d. P. auf dem Röntgenbild gefundenen, als Umbauzonen erscheinenden, spaltförmigen Aufhellungen sind demnach in ihrem histologischen Verhalten ganz wesentlich von den von Looser beschriebenen Umbauzonen, wie sie sich z. B. bei der Rachitis finden, verschieden. Frakturen und Infraktionen liegen bei letzteren, soweit die bisher spärlichen mikroskopischen Untersuchungen einen Schluß zulassen, nicht vor. Bei der O. d. P. sind sicher Fissuren vorhanden, die man nicht als Umbauzonen bezeichnen darf." Somit wird die Eigenart der querverlaufenden Infraktionen indirekt zur Ursache eines der wichtigsten Kennzeichen der Ostitis deformans. Denn das Bild der stark verdickten Tibia mit Abrundung ihrer vorderen Kante und ihrer Verbiegung nach vorn und außen ist wohl dasjenige, was klinisch am häufigsten beobachtet und aus dem auch am häufigsten die Diagnose „Ostitis deformans" gestellt wird. Die kolloid-chemische Zustandsänderung des Pagetknochens wird aber noch zur Ursache eines weiteren charakteristischen Kennzeichens dieser Krankheit, nämlich der guten Heilungstendenz, auf die Naville auf Grund seiner Untersuchungen von 170 Pagetfällen besonders hingewiesen hat. Da der Knochen wegen seiner vermehrten Sprödigkeit als Trennbruch bricht, kommt es gar nicht erst zu einer Verfestigungsdehnung, und damit entfällt auch die Absperrung feinster Blutgefäße

und Lymphbahnen, und die Wiederherstellung des Knochens kann wegen des aufrechterhaltenen Gewebsflüssigkeitsstromes unmittelbar einsetzen.

Die chemisch-kolloidalen und kristallinischen Eigenarten des Pagetknochens bedingen also in ihrer Gesamtheit einen von der Norm abweichenden makroskopischen Aufbau des Knochens und eine ausgeprägte gute Heilungstendenz. Beide Symptome sind letzten Endes aber auf eine Konsistenzänderung im Sinne einer gesteigerten Sprödigkeit zurückzuführen. Damit kann man auch die **zweite Voraussetzung** als gegeben ansehen, die — neben der Biegungsbelastung — als notwendig angesehen wurde, um die Einheitlichkeit des queren Pagetknochenbruches nach den Gesetzen der Mechanik zu erklären. **Die dritte Voraussetzung** hatte eine vorwiegend **statische Belastung** zum Inhalt, damit der für die Bruchform entscheidende Faktor der gesteigerten Sprödigkeit, unbeeinflußt durch dynamische Einwirkungen, voll zur Geltung kommt. Die dynamische Belastung war ja in hohem Maße geeignet, das Verhalten eines Körpers im Falle eines Bruches zu ändern.

Zunächst scheint es so, als ob für den Knochenbruch nur die dynamische Beanspruchung in Frage käme, als ob der Bruch stets eine „sozusagen momentane Zusammenhangstrennung" wäre (M a t t i).

Dem steht entgegen, daß

1. die einmalig angreifende Kraft oft überhaupt nicht zum Bruch führt,
2. ein Bruch schleichend auftritt nach immer und immer wieder entstehenden kleinen Spannungen,
3. beim indirekten Bruch sicher mehr statische Bedingungen vorliegen als dynamische,
4. auch beim plötzlich eintretenden Unfallereignis ein Gliedabschnitt zwar plötzlich in Zwangslagen gerät, also in Spannungszustände, dann aber sozusagen Zeit hat bis zum Bruch, der dann statischen Gesetzen unterliegt (H a a s e).

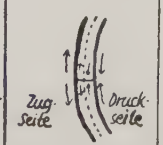
In Hinsicht auf die O. d. P. sind die Punkte 2 und 3 von besonderer Bedeutung, denn schleichende Frakturen und indirekte Brüche sind bei dieser Krankheit ungemein häufig, besonders wenn man auf Grund der S c h m o r l s c h e n Feststellungen zu einer richtigen Beurteilung der „L o o s e r s c h e n Umbauzonen" kommt. Diese Aufhellungsstreifen finden sich oft mehrfach übereinanderliegend und sind weiter nichts als durch statische Dauerbelastung entstandene quere Infraktionen, die jederzeit zur Ursache einer vollständigen Fraktur werden können. Derartige Fälle sind bereits röntgenologisch in den einzelnen Phasen festgehalten worden, und für die Mehrzahl der kompletten Frakturen des Pagetknochens gilt der Satz, daß das spröde Knochengewebe im Verlauf einer langdauernden statischen Beanspruchung entsprechend den auftretenden Trennspannungen zerrüttet wird und schließlich durch eine geringfügige dynamische Beanspruchung zu Bruch geht. Gewiß werden Pagetknochen gelegentlich auch durch eine einmalig angreifende, starke Belastung ohne vorhergegangene Zerrüttung des Gewebes brechen, diese Fälle sind aber bei der Häufigkeit querverlaufender Infraktionen sicher recht selten. Meistens schont der „Paget-Kranke" schon instinktiv den pathologisch veränderten Knochen, er meidet jede Anstrengung, die eine dynamische Beanspruchung in sich schließt. Prinzipiell besteht zudem kein Unterschied zwischen den

durch statische oder dynamische Biegungsbelastung entstehenden Brüchen des Pagetknochens, denn bei beiden Formen der Beanspruchung sind die Trennspannungen und die sich daraus ergebenden Bruchformen gleich, während die Tangentialspannungen wegen der Sprödigkeit des Gewebes unberücksichtigt bleiben können, da sie im Falle eines spröden Materials keinen Einfluß auf die Bruchform haben. Dennoch sollen in den folgenden Beispielen kompletter Querfrakturen vor allem solche Fälle Berücksichtigung finden, die eine langdauernde, statisch wirksame Zerrüttung des Gewebes erkennen lassen und damit den Faktor der dynamisch einwirkenden Kraft auch hier ausschließen. Dadurch werden die Faktoren der Belastungsrichtung und der Konsistenz (Voraussetzungen 1 u. 2) allein maßgeblich für die entstehenden Bruchformen sein.

Die Einheitlichkeit des Aussehens der Brüche bei der O. d. P., die in keinem Falle trotz der Biegungsbelastung ein ausgesprengtes Frakturdreieck zeigen, unterstreicht wiederum die große Bedeutung, die die Konsistenz eines Knochens für das Aussehen eines Bruches hat. Wenn im Falle der Pagetschen Erkrankung diese Konsistenzänderung auch ausgesprochen in der Richtung der pathologisch gesteigerten Sprödigkeit liegt und damit die Einförmigkeit des Bruchbildes bei dieser Krankheit ohne weiteres verständlich macht, so ergibt sich daraus doch ganz allgemein der Hinweis, daß die Konsistenz auch bei der Beurteilung normaler frakturierter Knochen in stärkerem Maße als bisher Berücksichtigung finden muß.

Aus der im Röntgenbild sichtbaren Bruchform allein und ihrer Deutung im Sinne unserer Lehrbücher darf noch kein Schluß auf den Entstehungsmechanismus des Bruches gezogen werden.

Den vorliegenden, mir von Herrn Privatdozent Dr. Haase, Oberarzt an der chirurgischen Universitätsklinik, freundlicherweise zur Verfügung gestellten Fällen von Knochenbrüchen und Infraktionen bei der O. d. P. — ergänzt durch Beispiele aus anderen Arbeiten — liegt, nach dem „Schema des grundsätzlichen Mechanismus der möglichen Brüche", das Haase und Richter aufgestellt haben, folgender Bruchmechanismus zugrunde:

Äußere Beanspruchung		Innere Reaktionen			
Kraft-Richtung		Richtung der maximalen Spannungen im gefährdeten Querschnitt		Zerstörungs-Schema	
		Größte Normal- (Trenn-) Spannungen	Größte Tangential- (Schub-) Spannungen	Trenn-Bruch (spröde) †	Schub oder Gleit-Verformung (plastisch)
1		2	3	4	5
* Biegung durch	○ Längsdruck (Knickung)				Nicht möglich
	Querdruck				

Anm. * Vgl. Voraussetzung 1 Seite 7
† „ „ 2 Seite 7
○ „ „ 3 Seite 7

Beispiele vollständiger Querfrakturen bei der O. d. P.

1. Fall: Dr. R. Ph., 71 Jahre alter Professor. Kinderkrankheiten, sonst nie ernstlich krank gewesen. Infektio veneris wird verneint. Seit zwei Jahren leidet Patient an Kreuzschmerzen.

Am 25. 4. 29 verspürte er beim Laufen auf der Straße plötzlich einen „elektrischen" Schlag im linken Bein. Er fiel hin und konnte nicht wieder aufstehen, woraufhin er seine sofortige Ueberführung in die Klinik veranlaßte. Hier macht er darauf aufmerksam, daß seine Schwester vor einigen Jahren eine spontane Schenkelhalsfraktur erlitten habe.

Aufnahmebefund: Mittelgroßer Mann in gehörigem Allgemeinzustand. Lunge o. B. Herz: Leichtes systolisches Geräusch an der Spitze, keine Verbreiterung. Linker Unterschenkel: Ungefähr handbreit unterhalb des Knies ist der Unterschenkel abgeknickt. Krepitation und abnorme Beweglichkeit, ziemlich starker Bluterguß. Bei Bewegung der Fragmente auffallend geringe Schmerzen. Es hat den Anschein, als ob beide Schienbeine nach vorn gebogen sind im Sinn der Pagetschen Erkrankung.

Röntgenbefund: Die Tibia zeigt eine glatte, **querverlaufende Fraktur** ungefähr handbreit unterhalb des Knies, die aussieht, als ob sie mit dem Meißel geschlagen wäre. In gleicher Höhe auch Fraktur der Fibula mit weniger eindeutiger Bruchform, hier Sporn- und Zackenbildung. Die Tibia ist verdickt, unscharf gezeichnet und von vorn nach hinten konvex gebogen. Die obere Gelenkfläche der Tibia ist stark verbreitert, in ihrer Zeichnung verwischt und unklar. Der ganze Tibiakopf ist wolkig und von unklarer Struktur: Pagetsche Erkrankung. Die Fibula zeigt — abgesehen von der Fraktur — keine pathologischen Veränderungen. (Abb. 1.)

Abb. 1

(Der Patient wird bei völligem Wohlbefinden, Fieberlosigkeit und Schmerzfreiheit auf eigenen Wunsch eine Woche nach Beginn der Behandlung aus der Klinik entlassen, um sich in seiner Heimatstadt M. weiterbehandeln zu lassen.)

2. Fall (zitiert nach Oberzimmer, 1. Fall): G. J., 65 Jahre alte Köchin. Außer Typhus, Masern und Rotlauf hat Patientin keine Erkrankungen durchgemacht, auch noch nie einen Unfall erlitten.

Am 10. Juli ist sie in der Küche des Kaffeehauses, in dem sie angestellt ist, die Treppe hinuntergefallen, verspürte sofort starke Schmerzen am rechten Oberschenkel, so daß sie nicht mehr aufstehen konnte.

Aufnahmebefund: Mittelgroße, senile Patientin in reduziertem Körperzustand. In der Mitte des rechten Oberschenkels eine Knickung mit nach hinten und innen offenem Winkel. Abnorme Beweglichkeit, Krepitation und Druckschmerz an dieser Stelle vorhanden. Keine nachweisbare Verkürzung.

Röntgenbefund: Leichte Antekurvation und starke Varusstellung, geringe Parallelverschiebung, **Querfraktur** in der Mitte des rechten Oberschenkels. Im übrigen ist der Femurschaft stark und gleichmäßig verdickt, jedoch nicht gekrümmt. Die Konturen des Femurs haben einen welligen Verlauf. Die Struktur der Kortikalis ist aufgelockert. Die Knochenbälkchen sind strähnig angeordnet. Der Markraum ist deutlich abgrenzbar. Der Kalkgehalt des Knochens ist stark vermindert. Der linke Oberschenkel weist die nämliche Struktur auf. (Abb. 2.)

Abb. 2

Aufn. ant/post Aufn. seitlich

(Photocopie aus d. Z. orthopäd. Chir. 1934, S. 117.)

Heilungsverlauf: Das Röntgenbild vom 8. August 1929 zeigt ant. post. ideale Stellung, seitliche Valgusstellung gebessert, starker periostaler Kallus.

13. August: Bruch klinisch fest.

30. August: Röntgenbefund: Gute Kallusbildung, Bruchspalt im Markraum sich ausfüllend.

30. September: Röntgenbefund: Kräftige Kallusbildung, Patient kann mit Stock ungefähr 10 Minuten gehen.

3. Fall (zitiert nach Oberzimmer, 3. Fall): O. F., 52 Jahre alter Arbeiter. Aus der Anamnese sei hervorgehoben, daß Patient seit drei Jahren des öfteren Ameisenlaufen im linken Arm verspürt hat. Er hat sich nie Gedanken darüber gemacht und auch keinen Arzt deswegen aufgesucht. Anamnese sonst ohne Belang.

13. Mai 1933: Patient ist von einer 5 m hohen Leiter gestürzt. Bewußtlos in das Unfallkrankenhaus eingeliefert.

Aufnahmebefund: Mittelgroßer, mäßig ernährter Patient. Er ist bewußtlos, hat erbrochen, das Erbrochene ist mit Blut vermengt. Auch jetzt noch Nasenbluten. Rechte Pupille größer als linke, beide reagieren nicht. Rechte Schläfengegend geschwollen, über dem Scheitel, etwas rechts von der Mittellinie eine schräggestellte, etwa 8 cm lange Rißquetschwunde. Ferner zeigt Patient im Bereich der linken Clavicula eine starke Auftreibung dieses Knochens. Ungefähr in der Mitte Beweglichkeit und Krepitation. Der linke Arm fällt im Schultergelenk schlaff herab. Reflexe der oberen und unteren Extremitäten normal.

Röntgenbefund: Das Röntgenbild des Kopfes weist eine Schädelbasisfraktur auf, das der Clavicula eine **Querfraktur** in der Mitte. Am 12. Tage nach dem Unfall ist Kallusbildung deutlich erkennbar. Im übrigen ist die Clavicula ungefähr auf das Doppelte verdickt. Ihr Umriß ist von rauher Beschaffenheit. Soweit die Kortikalis keine homogene Verschattung aufweist, ist eine streifenartige Anordnung der Knochenbälkchen zu erkennen. Der Markraum ist verschmälert. (Abb. 3.)

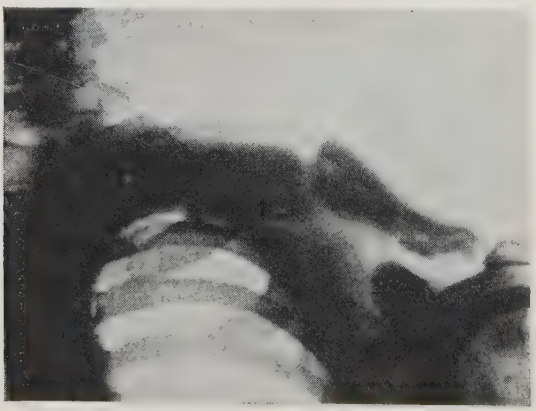


Abb. 3

(Photocopie aus d. Z. orthopäd. Chir. 1934, S. 120.)

Weitere Beispiele spontaner und traumatisch entstandener vollständiger **Querfrakturen** sind erwähnt bei:

Naville:

(Fall 1.) 64jähriger Patient. O. d. P. des linken Humerus, der rechten Ulna und Metacarpus III links. Im Verlauf von 13 Jahren bricht aus geringfügigen Anlässen der Oberarm **siebenmal an verschiedenen** Stellen, immer im erkrankten Bezirk. Soweit die alten Frakturen noch auf dem Röntgenbild erkennbar sind, weisen sie ebenso wie die letzte, frische Fraktur deutlich **den typischen Querbruch** auf. (Abb. 4.)

Heilungsverlauf: Bei allen sieben Frakturen nach fünf bis sechs Wochen Heilung.

Abb. 4

(Fall 2.) 69jährige Patientin. O. d. P. beider Femora und der rechten Tibia. Beim Treppensteigen Bruch des rechten Oberschenkels. Röntgenbefund: Der rechte Femur zeigt 17 cm proximal vom Kniegelenkspalt eine **quere Fraktur**. Die Frakturlinie verläuft fast geradlinig. (Abb. 5.)

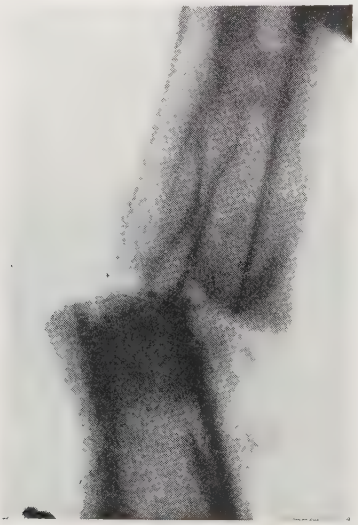


Abb. 5

Heilungsverlauf: Nach einem Monat mäßige Konsolidation, nach dreieinhalb Monaten wieder recht gut gehfähig. (Femurfraktur bei 69 Jahre alter Frau mit Atrophie des Skeletts!)

(Fall 3.) 45jähriger Patient. O. d. P. des Schädels, der Wirbelsäule, des Beckens, beider Femora, beider Tibiae, der rechten Fibula, beider Humeri, der rechten Clavicula. Sturz 4 m hoch von einer Leiter. Fraktur der rechten Tibia und doppelte Fibulafraktur. Röntgenbefund: „Ca. 8 cm distal der Kniegelenkfläche zieht durch die rechte Tibia eine nur leicht schräge Fraktur. Sie verläuft von innen oben nach außen unten und von hinten oben nach vorn unten geneigt und ist **fast geradlinig, wie mit dem Meißel angelegt.**“ Die Fibulafrakturen verlaufen ebenfalls nur ganz leicht schräg und sind annähernd geradlinig. (Abb 6.)

Heilungsverlauf: Trotz infizierter Pattenverschraubung nach sieben Wochen völlige Heilung.

(Fall 5.) 64jährige Patientin. O. d. P. beider Femora und der linken Tibia. Subtrochantere **Spontanfraktur** des linken Femurs **beim Anstoßen eines Stuhles im Kino.** Röntgenbefund: „Der rechte Oberschenkel zeigt dicht unterhalb des Trochanter min. eine **quere Fraktur** im Bereich des in seiner Struktur veränderten Schaftes.“

Heilungsverlauf: Nach sechs Wochen schon ziemlich fest.

Abb. 6

(Abb. 4—6 sind Photocopien nach Abb. aus d. Diss. Naville, Zürich, 1929.)

Kraas:

(Fall 1.) 71jähriger Mann. O. d. P. des linken Unterschenkels. Aufnahme in die Klinik wegen „Belastungsschmerzen" im linken Bein. Röntgenbefund: Das proximale Drittel des linken Unterschenkels ist ausgesprochen im Sinne der Pagetschen Erkrankung verändert. In dem erkrankten Knochenabschnitt eine **querverlaufende, ein Drittel des Schaftes durchsetzende Infraktion.** Zwei Tage nach Aufnahme in die Klinik stürzt der Patient im Beisein eines Pflegers auf der Treppe plötzlich hin. Röntgenbefund: **Komplette Querfraktur** an der Stelle der schon bestehenden queren Infraktion.

(Fall 2.) 47jähriger Mann. O. d. P. des linken Femurs. Patient stürzt bei Glatteis mit der Außenseite des linken Femurs auf eine Bordschwelle, es wird sofort nach dem Sturz eine einfache **Querfraktur** des linken Oberschenkels festgestellt. Nach sechswöchiger Krankenhausbehandlung wurde Patient nach Hause entlassen. Nach neun Tagen bemerkte Patient zu Haus während seiner Gehübungen an zwei Stöcken plötzlich ein Krachen im linken Oberschenkel. Bei einer neuen Röntgenaufnahme wird eine **zweite Querfraktur** oberhalb der alten Frakturstelle, auch im Bereich der Erkrankung, festgestellt.

Fischer:

62jähriger Mann. O. d. P. des rechten Femurs. Patient stürzt auf der Treppe. Nach seiner Ansicht blieb er an einer Treppenstufe hängen. Röntgenbefund: **Querverlaufende Schenkelhalsfraktur** entsprechend einer vorher bereits festgestellten querverlaufenden, etwa 1 cm langen Fissur.

Beispiele querverlaufender Infraktionen

Die angeführten Beispiele führten wegen der querverlaufenden Infraktionsrichtung zu der typischen Verlängerung und Verbiegung, dgl. zu der typischen querverlaufenden vollständigen Fraktur des Pagetknochens.

1. Fall: O. B., 64jähriger Mann. Patient kam am 15. V. 33 wegen „rheumatischer Beschwerden" im linken Unterschenkel in die poliklinische Behandlung. Die äußere Besichtigung ergab eine Verdickung und eine nach außen konvexe Verbiegung der linken Tibia.

Das **Röntgenbild** bestätigte die Diagnose der O. d. P. Etwa handbreit unterhalb der Tibia-Kniegelenkfläche sieht man an der äußeren stark konvexen Kante drei deutliche, querverlaufende Infraktionen, deren Kallusausfüllungen offenbar zur Verbiegung beigetragen haben. (Abb. 7).

Abb. 7

Aehnliche Fälle bringen die Verfasser:

Svab:

Ein Fall von O. d. P. eines Femurs. Röntgenbefund: **Vier schleichende querverlaufende Infraktionen und ein Querbruch.**

Salinger:

Drei Fälle von O. d. P. mit **typischen querverlaufenden Infraktionen**, die vom Verfasser irrtümlich als Beispiele **„Loosescher Umbauzonen"** bei der O. d. P. gebracht werden. (Unter Zugrundelegung dieser Arbeit führte Schmorl den oben erwähnten Nachweis, daß es sich bei den Aufhellungszonen um **echte Frakturspalten** handelt.)

Lehner:

Vier Fälle von O. d. P. der Tibiae mit **queren Spontanfissuren.**

Schmorl:

Der Verfasser verfügt über das umfangreichste Material über die O. d. P. In seinem Aufsatz über die Aufhellungzonen in der Kortikalis, die von Salinger irrtümlicherweise als „Loosersche Umbauzonen" gedeutet wurden, bringt er drei Fälle von O. d. P.

Die Tibia des ersten Falles weist **elf querverlaufende** Infraktionen auf, von denen zwei am oberen Ende befindliche die ganze Dicke des Knochens durchsetzen. **Der zweite Fall,** gleichfalls eine Tibia betreffend, zeigt **acht, der dritte Fall (Femur) neun querverlaufende Infraktionen bzw. Frakturen.**

Im gleichen Aufsatz zeigt Schmorl noch die Photographie und das Röntgenbild der unteren Hälfte einer an der Ostitis deformans Paget erkrankten Tibia als Beispiel für die strukturellen Veränderungen der Kortikalis. Das distale Ende weist eine **typische Querfraktur** auf, **die bei der Herstellung des Präparates unbeabsichtigt hervorgerufen** wurde. Da experimentelle Belastungsversuche mit Pagetknochen wegen der Seltenheit des O. d. P.-Materials noch nicht durchgeführt werden konnten, möge der letzte von Schmorl erwähnte Fall als Beispiel dafür gelten, daß der theoretisch begründete Bruchmechanismus, auf den die Einförmigkeit des Bruchbildes bei der O. d. P. zurückgeführt wurde, auch durch den künstlichen Belastungsversuch eine Bestätigung findet.

Zusammenfassung

Das Aussehen eines Knochenbruches ist nicht nur von der Art der Beanspruchung abhängig, sondern im gleichen Maße von den inneren Reaktionen des Knochens, die sich aus seinen Struktur- und Konsistenzverhältnissen ergeben. Die Bedeutung der Struktur und Konsistenz wird bei der Beurteilung von Röntgenbildern häufig nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt und aus der Bruchform allein auf einen falschen Entstehungsmechanismus geschlossen. In wie starkem Maße die Spannungsreaktion eines Knochens geeignet ist, das Aussehen eines Bruches zu bestimmen, zeigen die typischen Frakturen bei der Ostitis deformans Paget. Hier kommt es trotz der Biegungsbelastung als der häufigsten Beanspruchungsart nie zur Aussprengung eines Frakturdreieckes, wie es nach der herkömmlichen Lehre zu erwarten wäre, sondern stets zu glatten, querverlaufenden Bruchflächen, für die in erster Linie eine gesteigerte Sprödigkeit des an der O. d. P. erkrankten Knochens verantwortlich zu machen ist.

Es wird unter Berücksichtigung der drei für die Bruchform ausschlaggebenden Faktoren, nämlich der Richtung der Belastung, der Konsistenz und Struktur des Knochens und der Geschwindigkeit der einwirkenden Kraft, gezeigt, daß sich für den Paget-Knochen auf Grund der Erkenntnisse der technischen Mechanik nur die querverlaufende Bruchform ergeben kann, die eins der wichtigsten diagnostischen Kennzeichen der O. d. P. ist.

Weiter wird darauf hingewiesen, daß die wichtigsten Symptome der Paget-Erkrankung, die Verlängerung und die Verbiegung der Knochen, letzten Endes auch auf die querverlaufenden Frakturen zurückzuführen sind.

Es wird vermutet, daß sich die gute Heilungstendenz der Knochenbrüche bei der O. d. P. auf die gesteigerte Sprödigkeit zurückführen läßt, weil eine gefäßabsperrende Verfestigungsdehnung ausbleibt.

23 Beispiele vollständiger und unvollständiger Frakturen zeigen die in erster Linie durch die Konsistenz bedingte typische querverlaufende Bruchform sowie die Verlängerung und Verbiegung der an O. d. P. erkrankten Knochen und unterstreichen damit die Bedeutung eines Faktors, der, auch bei der Beurteilung von Bruchformen normaler Knochen, häufig nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt wird.

Herrn Privat-Dozent Dr. W. Haase bin ich für die Anregung und Hilfe zu dieser Arbeit sowie für die Ueberlassung des Materials zu großem Dank verpflichtet.

Schrifttum

1. Erdheim: Beitr. path. Anatomie 96,1 (1935).
2. Fischer: Zbl. Chir. 1931, 1766.
3. György: zit. n. A. Sturm, Lehrb. d. spez. Path. Physiologie. (Fischer 1935.)
4. Haase: Bruns Beitr. z. klin. Chir. Bd. 164. 1936.
5. Haase-Richter: Arch. f. Orthopädie u. Unfallchirurgie. Bd. 37. H. 5. 1937.
6. Haslhofer: „Ostitis deformans Paget" in Henke-Lubarsch, Handbuch der speziellen Anatomie u. Histologie. Bd. 9,3. (Knochen u. Gelenke.)
7. Henschen: Schw. med. Wochenschrift 1933, II, 1029.
8. Knaggs: zit. nach Haslhofer, s. o.
9. Kraas: Mschr. Unfallheilk. 39,200 (1932).
10. Lehner: Dtsch. Z. Chir. 235,244 (1932).
11. Looser: a) „Ostitis deformans Paget" in Lehrbuch der Röntgendiagnostik v. Schinz, Baensch, Friedl. 1932.
    b) Arch. klin. Chir. 180,379. 1932.
12. Matti: Knochenbrüche u. Behandlung. Springer 1931.
13. Naville: Ueber Frakturen bei der Ostitis deformans. Diss. Zürich 1929.
14. Oberzimmer: Z. orthopäd. Chir. 60,116 (1933).
15. Pfaundler: zit. nach A. Sturm. Lehrb. d. spez. path. Physiol. Fischer 1935.
16. Rauber: Elastizität und Festigkeit der Knochen. Leipzig 1876.
17. Rößle: a) Beitr. pathol. Anat. 77,174 (1927).
    b) zit. nach Haslhofer, s. o.
18. Salinger: Fortschr. Rö. str. 39,6,1049.
19. Schade: M. M. W. 1926, II.
20. Schmorl: a) Fortschr. Rö. str. 43,2,202.
    b) zit. nach Haslhofer, s. o.
21. Seidl: zit. nach Haase-Richter, s. o.
22. Svab: Fortschr. Rö. str. 48,475 (1933).
23. Triepel: Physikal. Anatomie. (Bergmann 1922.)

Lebenslauf

Ich bin am 6. August 1912 zu Berlin-Treptow geboren und besuchte das Real-Gymnasium zu Berlin-Reinickendorf. Am 21. März 1931 bestand ich daselbst das Abiturientenexamen und studierte von 1933 ab an der Universität Berlin Medizin. Hier legte ich am 4. April 1939 das medizinische Staatsexamen ab. Seit dem 1. Mai 1939 bin ich als Medizinal-Praktikant an der II. Medizinischen Klinik der Charité Berlin tätig.

Ich hörte die Vorlesungen der Herren Professoren von Bergmann, Bessau, von Eicken, Fick, Frieboes, Heubner, Lenz, Löhlein, Müller-Heß, Rößle, Rostock, Sauerbruch, Stoeckel, Trendelenburg, Zeiß.

Allen meinen hochverehrten Lehrern und denen, die mich in meinem Studium gefördert haben, spreche ich hierdurch meinen Dank aus.